

Оригинальная статья / Original Paper

DOI 10.15826/urej.2019.3.3.002

УДК 621.37

## Входная защитная цепь радиочастотного тракта приемника с заданным уровнем ограничения

О. А. Посный<sup>1</sup> ✉, С. В. Долгушев<sup>1</sup>, Е. А. Посная<sup>2</sup><sup>1</sup> АО «КБ радиосвязи», Россия, 299053, г. Севастополь,  
Фиолентовское шоссе, 1/2, корпус «А» литер «М»<sup>2</sup> Севастопольский государственный университет,  
Россия, 299053, г. Севастополь ул. Университетская, 33

✉ posnyi@rambler.ru

### Аннотация

Представлены результаты разработки входной защитной цепи, предназначенной для ограничения сигналов большой мощности, которые могут наводиться в антенне и поступать в радиочастотный тракт коротковолнового приемника. Входная защитная цепь интегрируется в радиочастотный тракт и предохраняет чувствительные узлы приемника от перегрузки и выхода из строя. Проведены успешные практические испытания опытных образцов входной защитной цепи, установленной на входе серийно выпускаемого коротковолнового приемника. Обоснован экономический эффект от внедрения разработки.

### Ключевые слова

защитная цепь, радиоприем, коротковолновый диапазон частот, радиочастотный тракт

### Для цитирования

Посный О. А., Долгушев С. В., Посная Е. А. Входная защитная цепь радиочастотного тракта приемника с заданным уровнем ограничения. *Ural Radio Engineering Journal*. 2019;3(3):243–250. DOI: 10.15826/urej.2019.3.3.002

## The input protective circuit of receiver radio frequency path with fixed restriction level

O. A. Posnyi<sup>1</sup> ✉, S. V. Dolgushev<sup>1</sup>, E. A. Posnaya<sup>2</sup><sup>1</sup> OJSC «Radio Design», 1/2 Fiolentovskoe Rd, Sevastopol, 299053, Russia<sup>2</sup> Sevastopol State University, 33, Universitetskaya Str., Sevastopol,  
299053, Russia

✉ posnyi@rambler.ru

### Abstract

This paper presents the results of the development of the input protective circuit designed to limit high-power signals which are induced in the antenna and enter the radio frequency path of the short-wave receiver.

The input protective circuit integrates into radio frequency path and protects receiver sensitive components from overload and failure. We have obtained effective results in practical prototype tests of the input protective circuit fixed at the input of the commercially available short-wave receiver. We justify the economic effect of the commercialization of the development.

### Keywords

protective circuit, radio, shortwave, radio frequency

### For citation

Posnyi O. A., Dolgushev S. V., Posnaya E. A. The input protective circuit of receiver radio frequency path with fixed restriction level. *Ural Radio Engineering Journal*. 2019;3(3):243–250. DOI: 10.15826/urej.2019.3.3.002

## 1. Введение

В коротковолновом диапазоне частот нередко применяют передающие устройства с выходной мощностью в десятки, а иногда и сотни киловатт. По этой причине в радиочастотном тракте приемного оборудования могут появляться сигналы недопустимо высокого уровня, способные вывести из строя высокочувствительные цепи. Более явно актуальность данного вопроса проявляется при малом разнесении радиоприемника и источника мощного сигнала, как правило, являющегося помехой, а также в случае преднамеренных радиопомех противника в условиях радиоэлектронной борьбы, в том числе и во время боевых действий.

В нормативных документах<sup>1</sup> для коротковолновых приемников регламентированы два параметра, которые формируют требования к характеристикам входной защитной цепи, а именно: уровень восприимчивости по блокированию и способность радиоприемного устройства сохранять работоспособность после 15-минутного воздействия на его вход высокочастотного сигнала с ЭДС 100 В, в том числе и на частотах настройки. Для приемников высшего класса уровень восприимчивости по блокированию может достигать 150 дБ·мкВ (ЭДС 31,6 В). Исходя из этих данных, получаем порог ограничения входной защитной цепи на уровне 20...22 В, при этом входная защитная цепь должна выдерживать высокочастотный ток до 1,7 А при ЭДС на входе 100 В. Также следует обратить внимание на то, что принцип действия схемы защиты заключается в преобразовании части энергии входного сигнала в тепловую энергию, и рассеиваемая

<sup>1</sup> ГОСТ Р 52016-2003 Приемники магистральной радиосвязи гектометрового-декаметрового диапазона волн. Параметры, общие технические требования и методы измерений. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200031497>

защитной цепью мощность может достигать 30...40 Вт. Таким образом, разработка узла защиты входных цепей приемника является актуальной.

В данной работе предложен способ построения входной защитной цепи, имеющей возможность выбора порога ограничения под различные требования. Однако при порогах ограничения более 5...10 В рекомендуем использовать предложенную входную защитную цепь на входе многоступенчатой схемы защиты [1; 2]. Диапазон частот (до 30 МГц) накладывает определенные требования к быстродействию электронных компонентов.

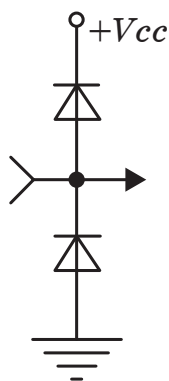
Вопросы построения частотно-избирательных цепей, а также защиты от преднамеренных помех противника рассматривались рядом авторов [3–8].

Целесообразным является интегрирование входной защитной цепи в фильтр нижних частот (ФНЧ), поскольку она обладает определенной емкостью, и обособленное применение входной защитной цепи приведет к спаду АЧХ с ростом частоты и рассогласованию импедансов. В свою очередь, ФНЧ на входе коротковолнового приемника может быть использован в качестве радиолокационного фильтра.

В ходе разработки авторы ставили перед собой задачу построения относительно простой схемы, содержащей минимум элементов, обладающей достаточным быстродействием, что должно способствовать высокой повторяемости схемы без дополнительной настройки и обеспечивать высокую надежность.

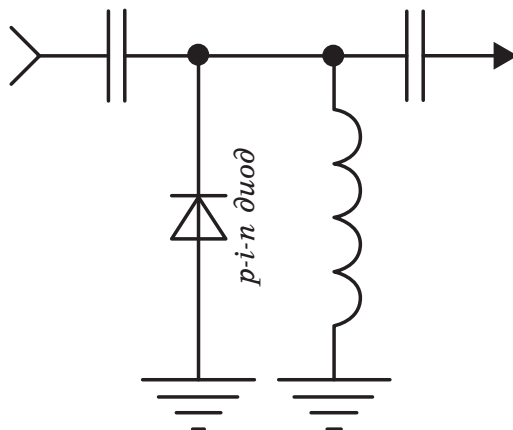
## 2. Методология и теоретическое моделирование

Известно несколько способов построения высокочастотных защитных цепей ограничительного типа. Как правило, эти цепи включают параллельно входу приемника, используя их шунтирующие свойства. Наиболее часто применяют диоды, включенные встречно-параллельно, с подачей дополнительного запирающего напряжения (рис. 1) либо ограничительный  $\text{pin}$ -диод с дополнительной пассивной ветвью для прохождения постоянного тока (рис. 2) или схемой управления, которая подразумевает пост-регулировку с последующим после срабатывания защиты вмешательством оператора, что в ряде случаев неприемлемо. Управление сопротивлением  $\text{pin}$ -диода в зависимости от амплитуды входного сигнала — один из эффективных способов построения защиты, имеющий ряд недостатков. Пассивная схема с  $\text{pin}$ -диодом хорошо себя зарекомендовала, но для получения высоких порогов ограничения в широком диапазоне частот применение ее затруднительно.



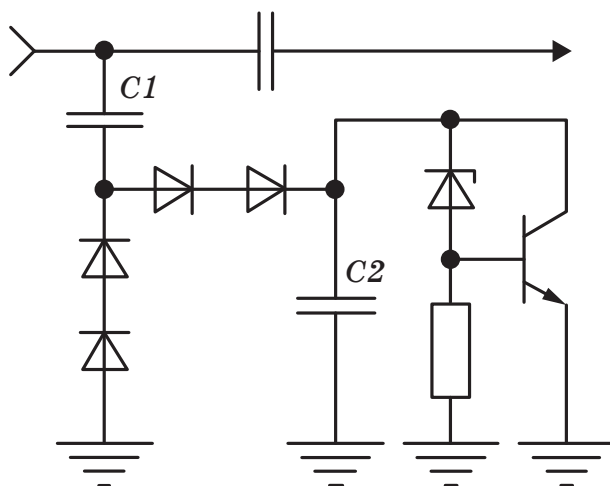
**Рис. 1.** Защитная цепь на встречно-параллельных импульсных диодах

**Fig. 1.** Protective circuit on anti-parallel pulse diodes



**Рис. 2.** Ограничитель с использованием pin-диода  
**Fig. 2.** Pin diode limiter

Авторам удалось развить идеологию, заложенную в схеме на рис. 1. Энергия наведенного сигнала большой мощности используется для формирования напряжения подпорки для сигналов меньшего уровня (рис. 3). Работу схемы на рис. 3 кратко можно описать следующим образом. При поступлении первой и второй полуволн сигнала с большой амплитудой конденсаторы  $C1$  и  $C2$  заряжаются, и запирают диоды. До тех пор, пока порог открывания транзистора, определяемый стабилитроном, не превышен, цепь не оказывает ограничивающего воздействия на входной сигнал.



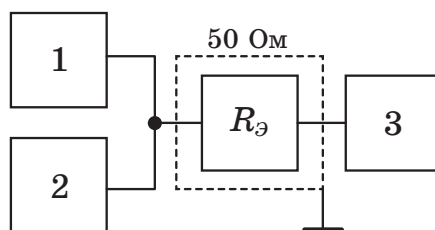
**Рис. 3.** Защитная цепь с заданным порогом ограничения  
**Fig. 3.** Protective circuit with a set limit threshold

Моделирование схемы в программном пакете «LTspice», предоставляемом компанией Linear Technology (входит в Analog Devices) в качестве бесплатного программного обеспечения, показало, что требуемый уровень ограничения достижим, а наибольшее расчетное значение рассеиваемой на транзисторе мощности составило порядка 28 Вт в низкочастотной части коротковолнового диапазона. Это накладывает также определенные требования к характеристикам транзистора, а именно: в имеющихся данных, предоставляемых производителями, необходимо обращать внимание на максимальную рассеиваемую транзистором мощность при постоянном токе. Она для высокочастотных транзисторов существенно меньше допустимой высокочастотной мощности рассеяния.

### 3. Результаты разработки и экспериментальные данные

По представленной на рис. 3 схеме были изготовлены опытные образцы входной защитной цепи. Подобраны быстродействующие диоды со временем обратного восстановления 16 нс, транзистор с временем  $t_f = 55$  нс и максимальной рассеиваемой мощностью 110 Вт, стабилитрон с напряжением стабилизации 39 В. Обеспечен качественный отвод тепла от компонентов схемы (диодов, транзистора). Защитная цепь интегрирована в фильтр нижних частот с частотой среза 40 МГц. В режиме слабых сигналов КСВ входа блока, включающего защитную цепь и фильтр нижних частот, в диапазоне частот 1,5–30 МГц не превышает 1,15 (для 50-омного тракта).

Испытания проводились по схеме, показанной на рис. 4 и рекомендованной ГОСТ Р 52016-2003<sup>1</sup>.



**Рис. 4.** Схема проверки работоспособности приемника при воздействии ВЧ-сигнала с ЭДС 100 В: 1 – генератор высокочастотных сигналов; 2 – универсальный вольтметр; 3 – приемник;  $R_э$  – эквивалент антенны мощностью не менее 200 Вт

**Fig. 4.** The scheme of checking the operability of the receiver when exposed to an RF signal with EMF 100 V

<sup>1</sup> ГОСТ Р 52016-2003 Приемники магистральной радиосвязи гектометрового-декаметрового диапазона волн. Параметры, общие технические требования и методы измерений. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200031497>

При подаче высокочастотного синусоидального сигнала от источника 200 Вт уровень ограничения амплитуды напряжения составил порядка 18...20 В. Форма сигнала на выходе защитной цепи в низкочастотной и высокочастотной частях коротковолнового диапазона несколько отличается в первую очередь по причине конечной величины времени обратного восстановления диодов, но в целом свою функцию узел эффективно выполняет во всем диапазоне частот.

Опытные образцы блока, состоящего из входной защитной цепи, интегрированной в ФНЧ, успешно прошли испытания в составе серийно выпускаемого коротковолнового приемника ПТ-100 (группа промышленных компаний «Корпорация ТИРА», г. Санкт-Петербург). Испытания проводились по схеме, показанной на рис. 4.

К достоинствам предложенной схемы можно отнести следующие качества:

- простота построения схемы;
- небольшое количество относительно недорогих компонентов;
- достаточно хорошая стабильность параметров ограничения в широком диапазоне частот;
- отсутствие дополнительных источников напряжения подпорки;
- уровень вносимых шумов определяется в основном только вносимым ослаблением (собственными шумами входной защитной цепи можно пренебречь).

#### 4. Заключение

Предложенная в работе схема построения входной защитной цепи радиочастотного тракта коротковолнового приемника позволяет предохранить высокочувствительные цепи от перегрузки, но в то же время обеспечить восприимчивость по блокированию радиоприемного устройства на уровне не хуже 150 дБ·мкВ при отстройке помехи на  $\pm 10$  % относительно частоты настройки приемника, если для последующих цепей приемника выполняется данный параметр.

Уровень развития современной элементной базы позволяет реализовывать быстродействующие цепи для задач обозначенной в исследовании проблематики. Очевидно, что использование предложенной входной защитной цепи в составе радиоприемного устройства является необходимым условием для получения профессионального и экономического эффекта при эксплуатации радиоприемного оборудования. Так, например, интегрировав предложенную недорогую входную защитную цепь в состав профессионального радиоприемника ПТ-100, можно уберечь вы-

сокочувствительные цепи от выхода из строя, избежать дорогостоящего ремонта, а также обеспечить высокие уровни восприимчивости по блокированию<sup>1</sup>.

### Список литературы

1. Черепанов В. П., Посысаев Е. И. *Защита радиоэлектронной аппаратуры от электрических перегрузок*. М.: ИП РадиоСофт; 2010.
2. Черепанов В. П., Хрулев А. К., Блудов И. П. *Электронные приборы для защиты РЭА от электрических перегрузок*. М.: Радио и связь; 1994.
3. Маковий В. А. Автоматическая регулировка восприимчивости в программируемом радиоприемнике. *Радиотехника*. 2013;(3):26–36.
4. Поляков В. Т. О стабильности частоты настройки телекоммуникационных приемников. *Вестник российского нового университета. Серия: Сложные системы: модели, анализ и управление*. 2014;(4):42–44.
5. Селюто Н. М. Преселектор радиовещательного приемника. *Молодежный научно-технический вестник*. 2017;(7):48.
6. Попов Г. А., Коновалов О. А., Васильев В. А. Методы контроля чувствительности приемных устройств. *Вестник Воронежского института ФЦИН России*. 2015;(3):20–25.
7. Семисошенко М. А. Развитие средств и комплексов военной радиосвязи. *Военная мысль*. 2014;(11):28–36.
8. Суранова М. А. Выбор конструкции приемного устройства для обеспечения защиты от преднамеренных помех противника. В: *Богатство России: сб. докладов Всероссийского форума научной молодежи. Москва, 6–8 декабря 2017 г.* М.: Моск. гос. техн. ун-т им. Н. Э. Баумана; 2018. С. 99–101.

### References

1. Cherepanov V. P., Posysaev E. I. *Protection of electronic equipment from electrical overloads*. Moscow: IP RadioSoft; 2010. (In Russ.)
2. Cherepanov V. P., Khrulev A. K., Bludov I. P. *Electronic devices for protecting electronic equipment from electrical overloads: Reference*. Moscow: Radio i svyaz; 1994. (In Russ.)
3. Makovij V. A. Automatic adjustment of sensitivity in the software radio. *Radiotekhnika = Radioengineering*. 2013;(3):26–36. (In Russ.)
4. Polyakov V. T. On the stability of the tuning frequency of the telecommunication receivers. *Vestnik rossiiskogo novogo universiteta. Seriya: Slozhnye sistemy: modeli, analiz i upravlenie = Vestnik of Russian New University. Series: Complex Systems: Models, Analysis, Management*. 2014;(4):42–44. (In Russ.)
5. Selyuto N. M. Broadcast Receiver Preselector. *Molodezhnyi nauchno-tekhnicheskii vestnik*. 2017;(7):48. (In Russ.)

<sup>1</sup> Статья является расширенной версией доклада, представленного на 29-й Международной Крымской конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» — КрыМиКо'2019 (Севастополь, РФ, 8–14 сентября 2019 г.)



6. Popov G. A., Konovalov O. A., Vasilyev V. A. Sensitivity control methods intakes. *Vestnik Voronezhskogo instituta FSIN Rossii = Vestnik of Voronezh Institute of the Russian Federal Penitentiary Service*. 2015;(3):20–25. (In Russ.)

7. Semisoshenko M. A. Development of means and complexes of military radio signal communication. *Voennaya mysl = Military Thought*. 2014;(11):28–36. (In Russ.)

8. Suranova M. A. The choice of the design of the receiving device to provide protection against intentional interference of the enemy. In: *The wealth of Russia: a collection of reports of the All-Russian Forum of Scientific Youth. Moscow, December 6–8, 2017*. Moscow: Bauman Moscow State Technical University; 2018, pp. 99–101. (In Russ.)

### Информация об авторах

**Посный Олег Александрович**, кандидат технических наук, ведущий инженер-конструктор АО «КБ радиосвязи», Россия, 299053, Севастополь, Фиолентовское шоссе, 1/2, корпус «А» литера «М», помещение I-3.

**Долгушев Сергей Васильевич**, генеральный директор АО «КБ радиосвязи», Россия, 299053, Севастополь, Фиолентовское шоссе, 1/2, корпус «А» литера «М», помещение I-3.

**Посная Елена Анатольевна**, кандидат экономических наук, доцент Севастопольский государственный университет, Россия, 299053, Севастополь, ул. Университетская, 33.

### Information about the authors

**Oleg A. Posnyi**, Candidate of Technical Sciences, leading design engineer, OJSC «Radio Design», 1/2 Fiolentovskoe Rd, Sevastopol, 299053, Russia.

**Sergey V. Dolgushev**, General Manager, OJSC «Radio Design», 1/2 Fiolentovskoe Rd, Sevastopol, 299053, Russia.

**Elena A. Posnaya**, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Sevastopol State University, 33, Universitetskaya Str., Sevastopol, 299053, Russia.

Поступила / Received: 25.09.2019

Принята в печать / Accepted: 10.10.2019